

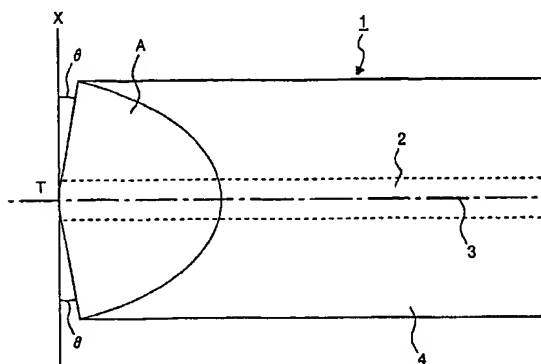
(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2002 年 1 月 10 日 (10.01.2002)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 02/03112 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02B 6/10 Masahiro) [JP/JP]. 伊藤訓彦 (ITO, Norihiko) [JP/JP]; 〒012-0855 秋田県湯沢市愛宕町四丁目6番56号 並木精密宝石株式会社 湯沢工場内 Akita (JP). 今泉伸夫 (IMAIZUMI, Nobuo) [JP/JP]. 佐藤平道 (SATO, Toshimichi) [JP/JP]; 〒123-8511 東京都足立区新田三丁目8番22号 並木精密宝石株式会社内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP01/05810
- (22) 国際出願日: 2001 年 7 月 4 日 (04.07.2001)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2000-202822 2000 年 7 月 4 日 (04.07.2000) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 並木精密宝石株式会社 (NAMIKI SEIMITSU HOUSEKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒123-8511 東京都足立区新田三丁目8番22号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 斎藤全弘 (SAITO,
- (54) Title: OPTICAL FIBER/MICRO-LENS, OPTICAL FIBER AND OPTICAL FIBER ARRANGING METHOD
- (55) 発明の名称: 光ファイバ・マイクロレンズ、光ファイバおよび光ファイバの配置方法
- (57) Abstract: A single-mode optical fiber/micro-lens comprising a core (2), a clad (4), and an optical fiber axis (3) extending through the core (2) and serving as an anamorphic focusing means, wherein a wedge shape consisting of slopes is formed at the tip end, facing a light source or an outgoing light beam, of the optical fiber (1), second slopes respectively forming an angle θ with a direction perpendicular to the optical fiber axis are symmetrically formed in a longitudinal direction at the crossing portion at the tip end of the wedge shape, and wedge-shaped micro-lens is provided at the end at which the two second slopes cross each other.
- (57) 要約:

[続葉有]



コア (2) とクラッド (4) を有し、光ファイバ軸線 (3) はコア (2) を通って伸長し、かつアナモルフィック集束手段をとる単一モード光ファイバ・マイクロレンズにおいて、光源または出射光に対向する光ファイバ 1 先端面に斜面からなる楔形状を形成し、楔形状先端部の交差部長手方向に、光ファイバ軸線と直交方向にそれぞれ角度 θ をなす第 2 の斜面を対称に形成し、二つの第 2 の面が互いに交差する端部にウェッジ状マイクロレンズを具備する。



2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

光ファイバ・マイクロレンズ、光ファイバおよび光ファイバの配置方法

5 技術分野

この発明は、光通信に使用するレーザダイオード、特に楕円形状放射線の発生源等の発光源と、光ファイバの端部に形成された単一モードもしくは多重モード光ファイバ・マイクロレンズまたは光ファイバとの光結合ないし光ファイバの配置方法に関するものである。

10

背景技術

光通信の発光源としては、レーザダイオード（以下LDという）、発光ダイオード等が用いられるが、光伝送路である光ファイバに入光させるためには光ファイバ端を発光面に位置合せして結合させるのが一般的である。しかし、発光面
15 からの光の出射角は、かなりの広がりがあるため、光ファイバとの結合効率はあまり良いものとはいえない。従って、結合効率を向上させるためにマイクロレンズ等を挿入して光を集束させて光ファイバへの入光効率を良くする方法がある。他方光ファイバ入射時の後方反射による損失を抑えるために光ファイバ及びマイクロレンズを傾斜させる方法も従来より合わせて取られている。これは光ファイバそのものの端面を研磨し角度をつける方法、或いは光ファイバとLDとの位置決め時に発光面に対し斜めに位置合わせする方法のことである。
20

1990年9月発行の刊行物ジャーナル・オブ・ライトウエーブ・テクノロジーに掲載されたヴィレンドラ・S・サアラによる「ウェッジ形状（楔形状）のファイバ端面を用いた980nm広領域レーザから単一モードファイバへの効率的なパワー結合」には、非対称性の光源からの放射光を有効に結合させるためにアナモルフィック集束手段を用いた光ファイバ・マイクロレンズが提案されている（Journal of Lightwave Technology Volume8 No.9, Sep.1990, Efficient Po
25

wer Coupling from a 980-nm, Broad-Area Laser to a Single-Mode Fiber Using a Wedge-Shaped Fiber Endface)。これによると47%の結合効率を得ることのできたウェッジ形状レンズを提案している。この場合のウェッジ角度 θ は25度とされる。角度 θ は光ファイバの長手方向軸線すなわちコアの中心軸方向に
5 対して直交する平面とウェッジ面との交差部分のなす角度のことである。

たとえば特開平8-5865号公報には、楕円モードフィールド光ビームを円対称シングルモード光ファイバに結合させることを目的とし、ファイバの先端にアナモルフック集束手段を用いたダブルウェッジマイクロレンズが提案されている（第14図A参照）。第14図Aによると50は光ファイバ、51はコア、
10 52はクラッド、53の光ファイバ軸線と平面54は直交関係ある。そして $5\theta < 5\phi$ の関係が存在する。

また本願と同一の出願人による特開平8-86923号公報には、光源に対抗する光ファイバ端のコア中心を基準にした中心線の両側に斜断面を設けて楔状とし、この先端に所望の曲率を設け半円筒状レンズを形成すると記載されている。
15 第14図Bはこの光ファイバ端の三面図である。

これらの提案は、エルビウム・ドーピング・ファイバ増幅器（以下EDFA）等の励起に用いられる高パワーな980nmのLDに対応して用いられる。それはアスペクト比が4:1以上で著しい楕円形の出力放射パターンを持つという特徴を持っている。また歪格子型量子井戸レーザでも、光放射窓部が同様に著しく
20 横に広がり結合効率をよくするために扁平レンズ等のアナモルフィック集束手段を用いた円非対称レンズを用いる。

このアナモルフィック集束手段を用いたマイクロレンズは、楕円形の非対称性の出力放射パターンを有する高パワーLDに対応して用いられており、結合効率の面では確かに効を奏する。しかし結合効率を重視するあまり、非対称性高出力
25 パターン伴ったこの高パワーLDが後方反射の影響を直に受け、その出力放射スペクトルを広い範囲に渡って変化させてしまう蓋然性がありうる。前述のEDFAの980nmのLDも後方反射のあまり、エルビウムの吸収帯域外へ励起放射

がねじ曲げられ増幅機能に大きく影響を及ぼすこともある。これらの問題点は1994年8月発行の刊行物「IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 6, NO. 8 : Reflection-Induced Chages in the Optical Spectra of 980-nm QW Lasers」にC. R. ギレスらによって提起されている。

- 5 本願発明者らの計算でも光ファイバの先端のラインが光ファイバの軸に対して90度をなす場合、ダブルウエッジ形状の光ファイバマイクロレンズでも、後方反射レベルが約-30dB生じてしまう。そしてこの値は前記高パワーLDの増幅機能に反射減衰量として確かに大きな影響を及ぼしてしまう。

- 10 これらの後方反射影響に対し解決策として、バルク格子、ファイバ格子反射器を光ファイバモジュールへ組み込む方法がある。それは反射を制御し狭帯域に封じ込めることによって改善を図るというものであった。しかしながら、これらの反射機器は光ファイバモジュールとして使用するにはあまりにも高価である。そこで別の方法で特開平10-78531号公報にはLDと光ファイバとの結合効率を高めつつ後方反射レベルを低減させる目的で新たな光ファイバマイクロ
15 レンズが提案されている。

- 20 この出願によれば、光ファイバ超小型レンズにおいて、光ファイバと非対称性出力を有するレーザ・ダイオードとの間の結合効率を高め、超小型レンズからレーザ・ダイオードへの後方反射レベルを低減することに課題が置かれている。その解決手段は、第15図によると、光ファイバ61のウエッジ先端における2つの平坦な表面65、66の交差線67が、超小型レンズ64の長軸をなし、その交差線67を光ファイバの軸線63に対して90度未満の角度(θ)で位置合わせすることにより達成されるものである。

- 25 この方法では後方反射レベルの低減、即ち光反射減衰量の低減化には確かに効を奏するが、結合効率の面ではLDと光ファイバとの位置決めを犠牲にしている。まず、二つの平坦な表面65、66の交差線67を超小型レンズ64の長軸をなすように設計しており、その交差線が90度未満の角度 θ で光ファイバの軸線に対して、即ち斜めの角度をもって超小型レンズが光ファイバ先端に設置されるこ

とになるので、当然LDからのレーザは屈折され入射することになる。依然として存在するLDと光ファイバとの結合の困難性とは、このような角度の有る先端を持った光ファイバ・超小型レンズの場合、屈折率に合わせてLDを光ファイバに対して傾斜させて位置をとるか、或いは逆に光ファイバを逆に傾斜させて位置
5 決めするしかないという点である。いずれにせよ先端が傾斜角をなす場合、その角度分どうしても中心部コアに向けてLDから距離が生じてしまうのである（第15図における距離Lの部分）。そのためLDと光ファイバとの最適な位置決めが困難となってしまうのである。

従って、この発明は、エルビウム・ドーピング・ファイバ増幅器（EDFA）
10 の励起に用いられる980nmのLDや歪格子型量子井戸レーザ等の非対称性出力を有する高パワーのLD等と光ファイバ・マイクロレンズもしくは光ファイバとの、結合効率をより良好になして、かつマイクロレンズからLDへの後方反射量を低減し、結論として光ファイバ端面での光反射減衰量をできるだけ低減させつつ非常に高効率な結合を図ることの可能な光ファイバ・マイクロレンズ、光
15 ファイバおよび光ファイバの配置方法を提供することを目的としている。

発明の開示

この発明にかかる光ファイバ・マイクロレンズは、コアとクラッドを有し、前記コア先端部にアナモルフィック集束手段を備える光ファイバ・マイクロレンズ
20 であって、光源または出射光に対向する光ファイバ先端で、楔状に交差する位置関係にある第1の2つの斜面を形成し、前記コアの中心を通る光ファイバ軸線に垂直な平面上の軸であって、前記光ファイバ軸線と前記楔状に交差する方向とに垂直な軸からそれぞれ角度 θ をなす第2の斜面を形成し、形成された4つの斜面に囲まれる端部をアナモルフィック収束手段としてマイクロレンズを形成した
25 こと、を特徴とする。

この発明によればアナモルフィック収束手段により高出力のレーザダイオード等からの光を効率よくコアに集光させる。

また、この発明にかかる光ファイバは、先端を曲面に加工した光ファイバであって、前記曲面は楕円面の一部の表面であり、前記楕円面の主軸の一つがコアの中心軸と一致するように加工したことを特徴とする。

この発明によれば、楕円体の表面の一部を先端に持つことにより、高出力のレーザーダイオード等からの光を効率よくコアに集光させる。

また、この発明にかかる光ファイバは、先端を曲面に加工した光ファイバであって、コアの中心軸を含む互いに垂直な2つの平面と前記曲面との交線が、それぞれ所定半径の円弧となるように加工したことを特徴とする。

この発明によれば、2つの曲率を持つ曲面を先端に持つことにより、高出力のレーザーダイオード等からの光を効率よくコアに集光させる。なお、この直交する円弧の間は滑らかな曲面を有し、コア中心に対して対称な形状であるとする。

また、この発明にかかる光ファイバは、前記曲面をコア部分に設け、クラッド部分には前記曲面に連続する平面を前記中心軸に対して対称に設けたことを特徴とする。

この発明によれば、クラッド部分に入射する光も含めて、高出力のレーザーダイオード等からの光を効率よくコアに集光させる。

また、この発明にかかる光ファイバは、前記円弧の曲率半径の比を1.2～3.8の間に設けたことを特徴とする。

この発明によれば、コア先端部が円筒形状に加工されることにより集光作用を有する光ファイバと同等以上に、高出力のレーザーダイオード等からの光をコアに集光させる。

また、この発明にかかる光ファイバは、前記円弧の曲率半径の比を1.8～2.4の間に設けたことを特徴とする。

この発明によれば、更に高効率で光をコアに集光させる。

また、この発明にかかる光ファイバは、前記円弧の曲率半径のうちの小さな方の曲率半径のコア半径に対する比を1.3～2.6の間に設けたことを特徴とする。

この発明によれば、コア先端部が円筒形状に加工されることにより集光作用を有する光ファイバと同等以上に、高出力のレーザダイオード等からの光をコアに集光させる。

また、この発明にかかる光ファイバは、前記円弧の曲率半径のうち小さな方の曲率半径のコア半径に対する比を1.6～1.9の間に設けたことを特徴とする。

この発明によれば、更に高効率で光をコアに集光させる。

また、この発明にかかる光ファイバの配置方法は、所定の光源から入射してくる光線束が、光ファイバの先端に接する平面上において楕円状に偏平な形状である場合に、コアの中心軸を前記光線束の中心の光線の進行方向に一致させ、かつ、コア先端で最も大きな曲率を有する接線方向を前記偏平な形状の長手方向と直交な位置関係となるように光ファイバを軸回転させて配置することを特徴とする。

この発明によれば、偏平に広がる方向に最も曲率の小さな（すなわち光をよく曲げる）曲面が配向されるので高出力のレーザダイオード等からの光を効率よくコアに集光させる。

図面の簡単な説明

第1図は、この発明の一実施例を示す光ファイバ・マイクロレンズの上面図であり、第2図は、この発明の一実施例を示す光ファイバ・マイクロレンズの側面図であり、第3図は、この発明の一実施例を示す光ファイバ・マイクロレンズの正面図であり、第4図は、この発明の一実施例を示す光ファイバ・マイクロレンズの概略斜視図であり、第5図は、実施の形態2の光ファイバの先端形状をコア部分を中心に示した説明図であり、第6図は、実施の形態2の光ファイバの先端形状をコア部分を中心に示した説明図であり、第7図は、光ファイバの先端部が楕円体の一部の表面となっている状態を示した説明図であり、第8図は、y平面上では半径 R_h の円弧を描き、x平面上では半径 R_v の円弧を描くコア先端部の形状の様子を示した説明図であり、第9図は、半導体レーザから出射されるレー

ザ光の光線束の形状を模式的に示した説明図であり、第10図は、光ファイバと半導体レーザの配置例を示した説明図であり、第11図は、 R_h および R_v を変化させた場合の結合効率を示した図であり、第12図は、半円筒レンズ形状に先端部を加工した従来の光ファイバの外観図であり、第13図は、光ファイバの先端形状の他の加工例を示した図であり、第14図は、AB共に従来の楔形状光ファイバとマイクロレンズを示す図であり、第15図は、従来の先端が傾斜した光ファイバとマイクロレンズの側面図と上面図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態を説明する。実施の形態1では、特に後方反射を低減させる観点から光ファイバ・マイクロレンズを説明し、実施の形態2では、特に結合効率を向上させる（すなわち、コアに光を高効率で集光させる）光ファイバおよび光ファイバの配置方法について説明する。

（実施の形態1）

実施の形態1では、後方反射を低減させる点について発明を詳細に説明する。ここでは、まず、光ファイバ・マイクロレンズの形状をその作製方法を追うことにより図面を用いて説明し、次に、再び図面を用いながら詳細な形状説明をおこなう。

光ファイバ・マイクロレンズの作成に当たっては、まず、前述した本願と同一出願人である特開平8-86923号公報に従って、光ファイバの先端を研磨し楔形状に形成する。もちろんアナモルフィック集束手段をとる単一モード光ファイバ・マイクロレンズの形成をその目的とする。第1図～第4図を参考にすると、まず楔形に研磨して斜面A、A'が形成される（第14図Bも参照）。なお、発明者らの計算によると楔形状に形成した際の楔形状開角度 β は50度から120度までの任意の角度をとることができる。楔形状先端部の中央部より更に角度 θ をもって研磨される。またこの角度 θ は長手方向光ファイバ軸線に対してラジアル関係にある平面xに対して計測されるものである。この角度 θ をもつ研磨、そ

れは中心部Tにまで追い込むように研磨をかけ、なだらかな稜線を描くほどの曲面をなすまでとする。そして楔形状先端部に新たに第2の面a, a' が対称に形成されることを特徴とする光ファイバ・マイクロレンズが提供されるのである。

- 次に反射減衰量について考える。一般に反射戻り光（後方反射）が大きいと、
- 5 光コネクタ間の多重反射やレーザへの戻りが伝送特性の劣化を招く。反射減衰量はコネクタ等の光学特性として最も重要な指標のひとつである。そしてこの反射戻り光の主な発生原因は、研磨端面で発生するフレネル反射である。フレネル反射の大きさは光ファイバ端面の切断角に大きく依存し、6度以上では無反射となり光パルス試験器（OTDR）でも測定ができない。一方で光ファイバレンズ
- 10 のウェッジの先端の曲率が大きくなると後方反射レベルはより高くなってしまいう。本願の場合楔状の先端を、単にある曲率を持った稜線の連続、つまり先端を平坦な状態のままにしておくだけではなく、より後方反射レベルを低減させるために、角度 θ だけ傾斜させたa, a' の第2の面を先端に形成させ、ひいては反射減衰量の低減をなすものである。

- 15 次に、第1図から第4図を参考にして本発明を説明する。第1図から第4図は本発明の一実施例である。第1図は本発明の光ファイバ・マイクロレンズの上面図である。第2図は本発明の光ファイバ・マイクロレンズの側面図、第3図は本発明の光ファイバ・マイクロレンズの正面図、第4図は本発明の光ファイバ・マイクロレンズの概略斜視図である。

- 20 基本的に光ファイバは屈折率の高いコア材料を屈折率の低いクラッド材料で覆った円柱状構造を持つ。伝搬可能なモードの数を表す量として、正規化周波数Vが用いられる。多モードファイバではVが数十以上、モードの数で数百以上が伝搬可能である。他方、コア径やコアクラッド間の相対屈折率差を小さくしていくと次第にVが減少し、ステップ型ファイバの場合、 $V=2.4$ 以下ではただ一つ
- 25 のモードのみが伝搬を許されることになる、これが本願のような単一モードファイバである。

第1図から第4図において、1は光ファイバ、2が示している破線はコアを表

す、3は長手方向光ファイバ軸線、4はクラッドである。A、A'は光ファイバを楔形状に形成する滑らかな面で当然対称で相等しい。a、a'は角度 θ で研磨してできあがった第2の面で当然対称で相等しい。第3図のTは本光ファイバ・マイクロレンズの中心頂点を表し、tはマイクロレンズ曲率半径を表す。

- 5 第1図～第4図において、楔形状に研磨された光ファイバ1に対して、楔形状先端部の中央部より更に角度 θ をもって研磨される。またこの角度 θ は長手方向光ファイバ軸線に対してラジアル関係にある平面xに対して計測されるものである。この角度 θ をもつ研磨とは、それは中心部にまで追い込むように研磨を掛け、なだらかな稜線を描くほどの曲面をなすまでとするものである。発明者らの
- 10 計算によると θ は2度から12度の値を取り得るが好ましくは7度～8度である。 θ が決まれば光ファイバ自身の角度 ϕ は176度から156度ということになる。なお光ファイバ1の直径Rは125 μm としている。なお、レーザ光の出力や光ファイバ半径、コア半径等の関係によっては θ は20度～30度の角度としても良い。この場合は ϕ は120度～140度の角度となる。

- 15 第3図において、tはマイクロレンズ曲率半径であるが、tはLD等の発光面からのレーザ出射角度に応じて変化する。例えば本願は980nmのポンプレーザモジュール等の高出力LDを想定しているが、こういったLD発光体の出射口は扁平であり、縦が(y軸方向)0.5～1 μm で横が(x軸方向)2～6 μm の場合が多い、この場合FFP出射角度25～45度の放射光線に対しては(ファイバのコア径によっても異なるが、一般的な5～6 μm コア径の単一モード光
- 20 ファイバの場合)、本マイクロレンズ曲率半径tは、5から6 μm の値となる。

- そして楔形状先端部にTを頂点とした角度 θ を持った新たな第2の面a、a'が対称に形成されることを特徴とする光ファイバ・マイクロレンズが提供される。この光ファイバ・マイクロレンズは、第15図の角度を持ち傾斜させている光ファイバレンズと比較すると第15におけるLの距離がないため、LD出射口の正面中央に容易に調芯、即ち容易に位置決めすることが可能となった。
- 25

しかもLDと先端Tとの距離を、出射角度からの計算によって3 μm から5 μ

mの距離におくことが必要な場合でも、角度を持ち傾斜させている光ファイバレンズと比較すると、容易な位置決めと共に接触等によるLDと光ファイバ両者の損傷の発生可能性も減少させることができる。

(実施の形態2)

- 5 次に、結合効率を向上させる光ファイバおよび光ファイバの配置方法について説明する。第5図～第8図は、実施の形態2の光ファイバの先端形状をコア部分を中心に示した説明図である。ここでは、光ファイバの研磨方法を概説することにより光ファイバの先端形状について説明する。

- 10 まず、光ファイバ10は、その先端部が丸みを持つように研磨される。この作業と並行して、クラッド13部分には、丸みを帯びた先端部に接続する平面A、A'がコア11の中心軸12に対して対称となるように研磨されて設けられる。この平面A、A'は、いわば楔形の位置関係となっている(第5図参照)。

- 15 次に、研磨する向きを90度変え、最初の研磨面と直交する方向に丸みを持つように研磨される。この丸みは最初の研磨による丸みより大きくなるように研磨される(第6図参照)。また、この第2の研磨に関しても、丸みの先端部に接続する平面a、a'(第9図参照)が中心軸12に対して対称となるように研磨されて設けられる。

- 20 第7図および第8図は、この2つの研磨工程を経た場合のコア11を含んだ光ファイバ10先端部の3次元の曲面形状を示した説明図である。このうち第7図は、光ファイバ10の先端部が楕円面の一部の表面となっている状態を示した図である。第7図に示した座標系を用いると、楕円面は所定係数p、q、rを用いて下式(1)の様に表現できる。

$$(x/p)^2 + (y/q)^2 + (z/r)^2 = 1 \quad \dots (1)$$

- 25 なお、p、q、rは必ずしも相互に異なっている必要はなく、いずれか2つが一致していても良い。この場合は式(1)は回転楕円面を表す。

なお、研磨の方法を変えて、光ファイバ10先端部の形状が、中心軸12に平行な面で切断した場合に同一円弧を描く形状となるようにしても良い。第8図は、

y 平面上では半径 R_h の円弧を描き、x 平面上では半径 R_v の円弧を描くコア 11 先端部の形状の様子を示した説明図である。図には、y 平面上の円弧 C_h と x 平面上の円弧 C_v を示している。

以上説明した例では光ファイバ 10 先端部の曲面形状を説明するために楕円面の一部の表面（第 7 図）もしくは曲率半径の異なる円弧（第 8 図）の組み合わせを用いて説明したが、コア 11 先端部は微小領域であるので、どちらの表現系を用いても曲面形状は略同一となる。

次に、光ファイバの配置方法について説明する。第 9 図および第 10 図は、光ファイバと半導体レーザの配置例を示した説明図である。このうち第 9 図は、半導体レーザから出射されるレーザ光の光線束の形状を模式的に示した説明図である。なお、ここでは、高出力の半導体レーザを用いた場合について説明する。

半導体レーザ 20 は高出力のレーザ光を出射するので、その出射口 22 は、x 軸方向に細長い矩形形状となっている（第 10 図参照）。この出射口 22 から高出力のレーザ光が出射されると、その光線束は y 軸方向に扁平に広がるレーザ光となる。本願発明者らは、このレーザ光を高効率で結合させる光ファイバ 10 の配置を見いだした。その配置とは、まず、半導体レーザ 20 が出射する光線束 21 の中心の光線（レーザ光）の進行方向とコア 11 の中心軸 12 とを一致させ、次に、コア 11 先端で最も大きな曲率を有する接線方向（第 8 図でいう円弧 C_h の接線方向）を第 9 図または第 10 図の x 軸方向とする位置関係である。換言すると、出射光が扁平に広がる方向と円弧 C_h の接線方向とを直交な位置関係とすることにより、高効率な結合が可能となることを発見した。

次に、高効率な結合を可能とする光ファイバ 10 の先端形状について説明する。光ファイバ 10 の先端部の 3 次元曲面形状は前述したとおり、2 つの曲率で特徴づけることができる。ここでは、第 5 図および第 6 図に示した 2 つの曲率半径 R_h および R_v を変化させて結合効率を測定する実験を行った。実験では、980 nm 励起用レーザダイオードを用い、コア半径 2.95 [μm]、コア屈折率 1.485、開口数 (NA) 0.14 として数値計算を行った。以降ではコア半径を

R_c と表記する。

第11図は、 R_h および R_v を変化させた場合の結合効率を示した図表である。
なお、図表右端には、先端を単一な半円筒レンズ形状に加工した光ファイバの結合
効率を示している。第12図は、従来の半円筒レンズ形状に先端部を加工した
5 光ファイバの外観図である。以降においてはこの半円筒レンズ形状に加工した光
ファイバをCLF (Cylindrical Lenzed Fiber) と称
することとする。なお、CLFでは、 R_v が有限で、 R_h が無限大であると考え
ることができる。

図示したように、太線で囲ったエリアAでは、CLFにおける最高結合効率で
10 ある88.07%を超える結合効率を示しており、本発明の光ファイバの配置方
法および先端3次元曲面形状が非常に優れていることが分かる。このエリアAで
は、曲率半径の比(R_h/R_v)は1.2~3.8の間のいずれかの値である。
また、 R_v (曲率半径の小さな方) のコア半径 R_c に対する比(R_v/R_c)は
1.3~2.6の間のいずれかの値である。

15 更に、エリアAのうちのエリアBは、結合効率が95%を超える領域を示して
いる。すなわち、エリアBのパラメータでは、エリアAに比しても極めて優れた
結合効率を達成することが分かる。このエリアBでは、曲率半径の比(R_h/R_v)
は1.8~2.4の間のいずれかの値である。また、 R_v (曲率半径の小さ
な方) のコア半径 R_c に対する比(R_v/R_c)は1.6~1.9の間のいずれ
20 かの値である。

以上の結果から、光ファイバ10の先端形状は、 $1.3 \leq R_v/R_c \leq 2.6$,
 $1.2 \leq R_h/R_v \leq 3.8$ が好ましく、 $1.6 \leq R_v/R_c \leq 1.9$, 1.8
 $\leq R_h/R_v \leq 2.4$ が最も好ましいことが分かった。

なお、 R_v と R_h が同一である場合、すなわち、光ファイバ10先端部が球形
25 である場合の結合効率は、コア半径 R_c の2倍前後の場合(第11図の例では $R_h = R_v = 7 [\mu m]$) が最も結合効率が高く79%程度であることが分かった。
また、光ファイバ10先端をコアを半球にむき出した場合(すなわち、 R_v と R

hとR_cが等しい場合)には、結合効率が40%弱であった。このことから、本発明の光ファイバおよび光ファイバの配置方法が、高出力のレーザ光をコア11に如何に効率的に集光ないし導光するかがわかる。

なお、第13図は、光ファイバ10の先端形状の他の加工例を示した図である。

5 ここで左側の図はz軸進行方向から光ファイバ10を見た図である。

以上説明したとおり、本発明の光ファイバ・マイクロレンズにおいては、上記のとおり構成したから、980nmの高出力LD等の著しい楕円形の出力放射パターンを持つ扁平光線も、後方反射レベルの低減化を図りつつ取り込むことができるので、高い結合効率を得ることができるようになった。つまり出射端が扁平
10 なポンプレーザモジュールなどの高出力LDやLEDの発生する光線を、光反射減衰量の低減化を為しつつ、漏れなく高効率で光ファイバへ結合することが可能となるという効果をもたらす。

また、上記説明は980nmポンプレーザなどのアスペクト比の大きいものについての効果を示したが、本発明はこれに限定されるものではなく、アスペクト比
15 の小さいLD、例えばラマン増幅用光源に対しても有効であることは言うまでもない。

しかも、いわゆる楔形状光ファイバの両端が研磨されているので、単に楔形状の平坦な半円筒の稜線先端を持つ光ファイバや稜線先端を傾斜させてある光ファイバと比較して、高出力LDを傾斜させ設置させる、若しくは光ファイバ側を
20 傾斜させるような必要もなく、LD出射口の正面中央に光ファイバ・マイクロレンズを調芯、即ち位置決めすることが可能となり、両者の結合方法が簡便なものとなった。そしてこのこともひいては結合効率の向上につながる。

また、副次的な効果として、LDと光ファイバ間の距離を3μmから5μmにまでの距離に設置したとしても、いわゆる楔形状光ファイバの両端が研磨されて
25 いるので単に楔形状の平坦な稜線先端を持つ光ファイバや稜線先端を傾斜させてある光ファイバと比較して角がとれているため、光ファイバとLD等の接触による損傷の発生可能性もより少ないものとなった。

また複雑な工程で製造することなく光ファイバを研磨することのみで形成できるという低コストで光ファイバ・マイクロレンズを提供することができる。

産業上の利用可能性

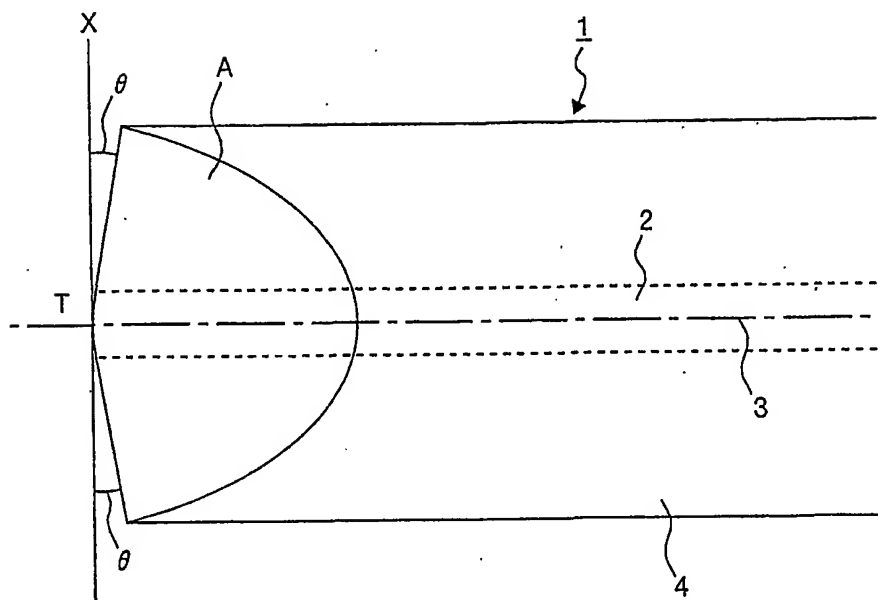
- 5 以上のように、本発明にかかる光ファイバ・マイクロレンズ、光ファイバおよび光ファイバの配置方法は、光通信に用いられる高出力のレーザ光を高効率で安定的に結合させるのに有効であり、特に長距離伝送もしくは多重伝送をおこなう環境に適用するのに適している。

請 求 の 範 囲

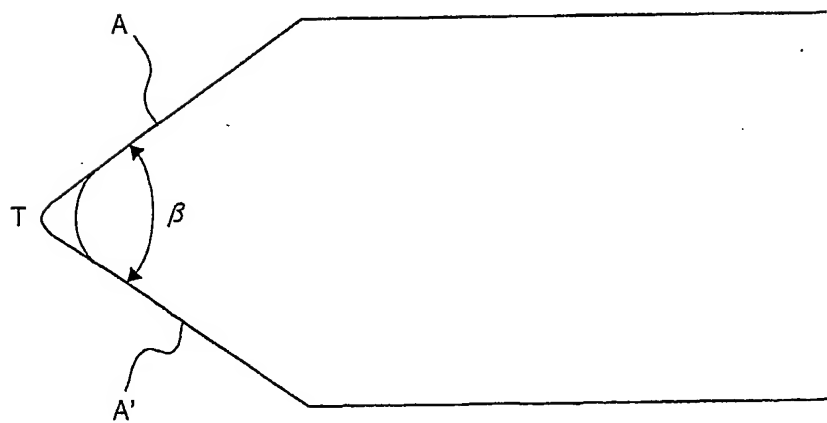
1. コアとクラッドを有し、前記コア先端部にアナモルフィック集束手段を備える光ファイバ・マイクロレンズであって、
 - 5 光源または出射光に対向する光ファイバ先端で、楔状に交差する位置関係にある第1の2つの斜面を形成し、
前記コアの中心を通る光ファイバ軸線に垂直な平面上の軸であって、前記光ファイバ軸線と前記楔状に交差する方向とに垂直な軸からそれぞれ角度 θ をなす第2の斜面を形成し、
10 形成された4つの斜面に囲まれる端部をアナモルフィック収束手段としてマイクロレンズを形成したこと、
を特徴とする光ファイバ・マイクロレンズ。
2. 先端を曲面に加工した光ファイバであって、
 - 15 前記曲面は楕円面の一部の表面であり、前記楕円面の主軸の一つがコアの中心軸と一致するように加工したことを特徴とする光ファイバ。
3. 先端を曲面に加工した光ファイバであって、
コアの中心軸を含む互いに垂直な2つの平面と前記曲面との交線が、それぞれ
20 所定半径の円弧となるように加工したことを特徴とする光ファイバ。
4. 前記曲面をコア部分に設け、クラッド部分には前記曲面に連続する平面を
前記中心軸に対して対称に設けたことを特徴とする請求の範囲第2項または第
3項に記載の光ファイバ。
25
5. 前記円弧の曲率半径の比を1.2～3.8の間に設けたことを特徴とする
請求の範囲第3項に記載の光ファイバ。

6. 前記円弧の曲率半径の比を1.8～2.4の間に設けたことを特徴とする請求の範囲第3項に記載の光ファイバ。
- 5 7. 前記円弧の曲率半径のうちの小さな方の曲率半径のコア半径に対する比を1.3～2.6の間に設けたことを特徴とする請求の範囲第3項に記載の光ファイバ。
8. 前記円弧の曲率半径のうち小さな方の曲率半径のコア半径に対する比を1.6～1.9の間に設けたことを特徴とする請求の範囲第3項に記載の光ファイバ。
- 10 9. 所定の光源から入射してくる光線束が、前記請求の範囲第2項または第3項に記載の光ファイバの先端に接する平面上において楕円状に偏平な形状である場合に、コアの中心軸を前記光線束の中心の光線の進行方向に一致させ、かつ、
- 15 コア先端で最も大きな曲率を有する接線方向を前記偏平な形状の長手方向と直交な位置関係となるように光ファイバを軸回転させて配置することを特徴とする光ファイバの配置方法。

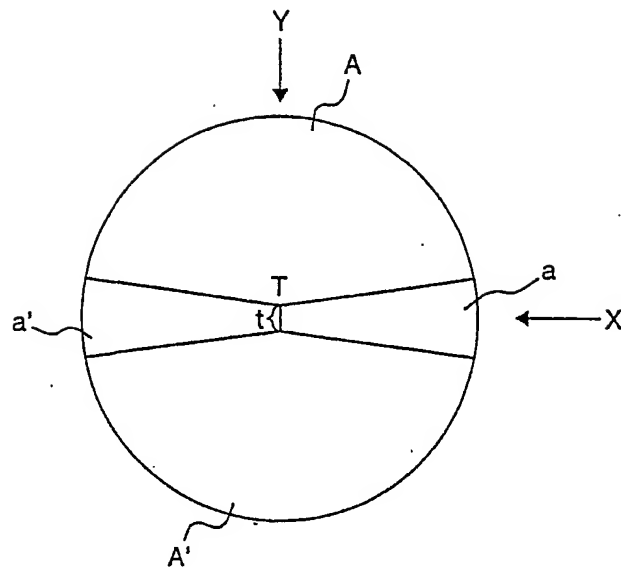
第1図



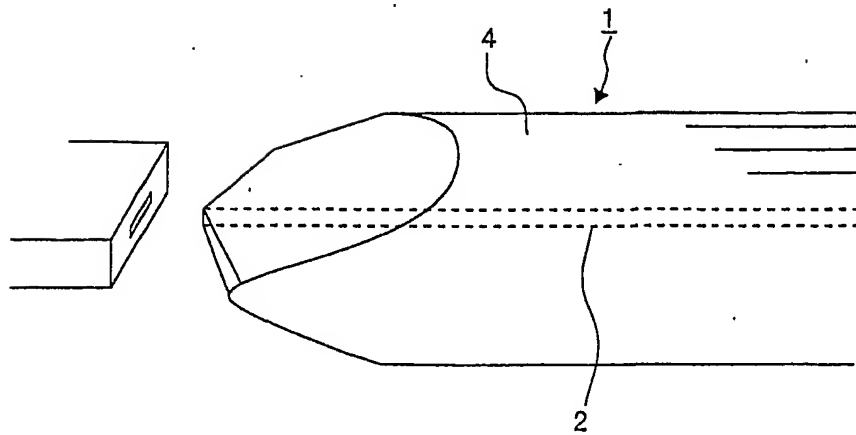
第2図



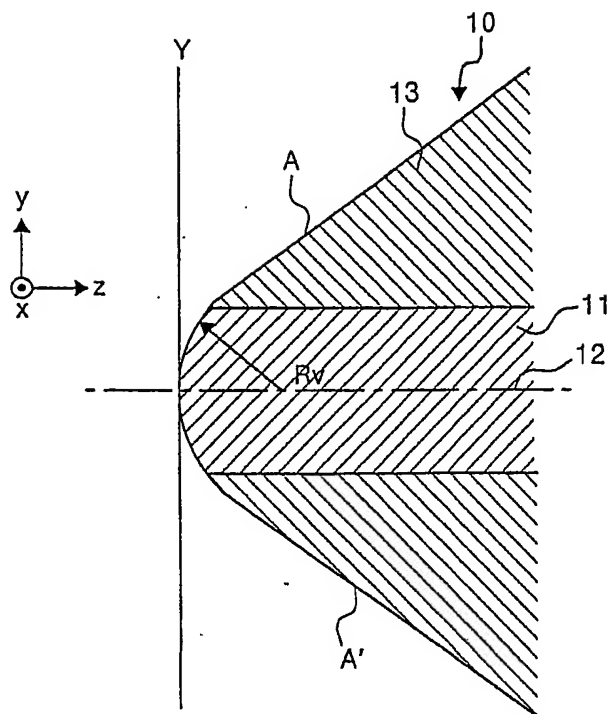
第3図



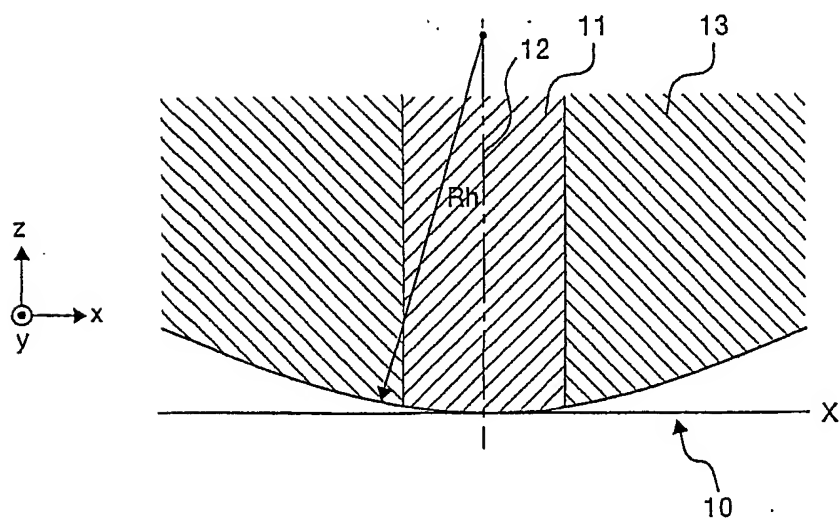
第4図



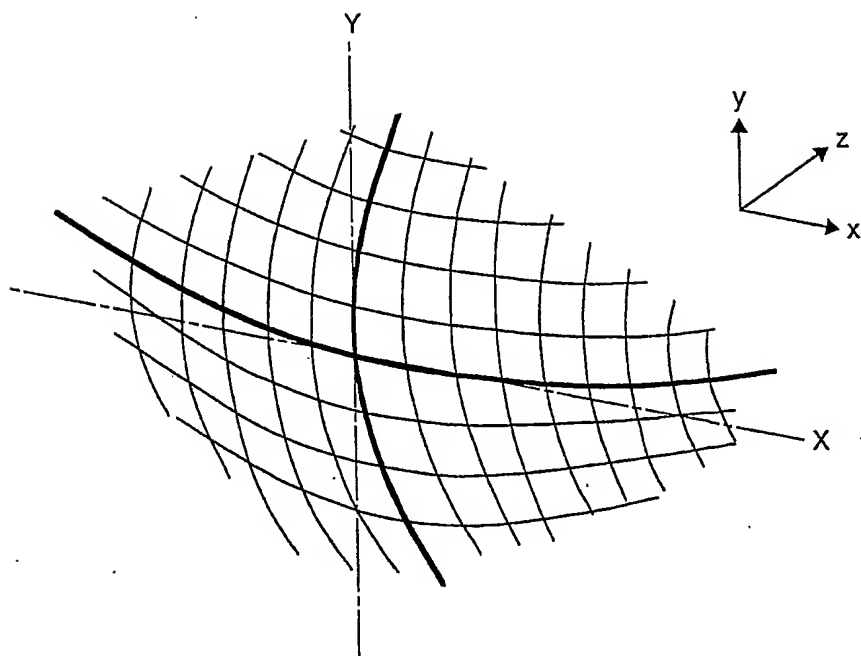
第5図



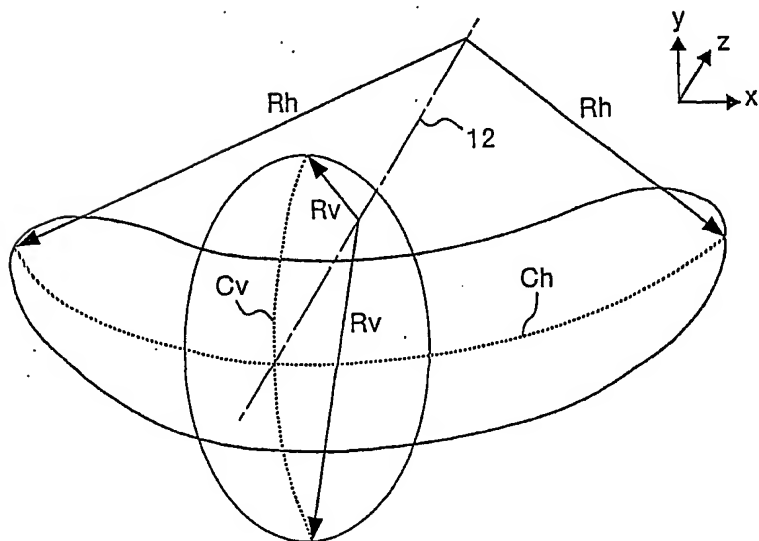
第6図



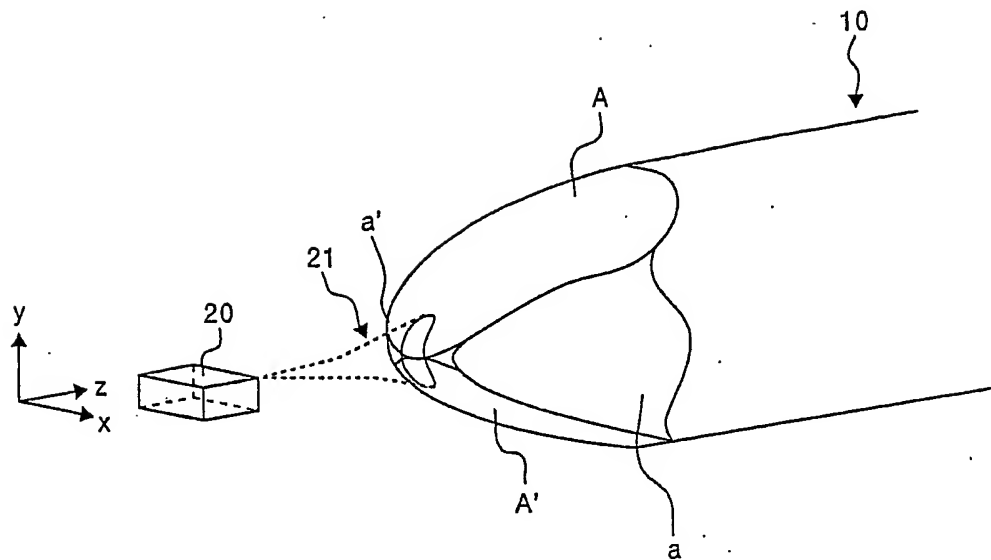
第7図



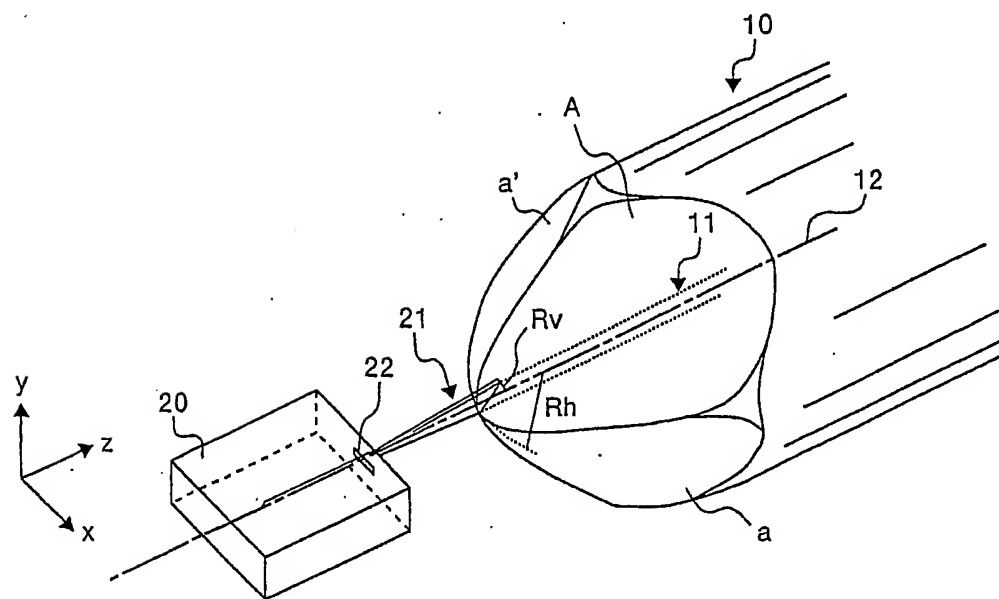
第8図



第9図



第10図



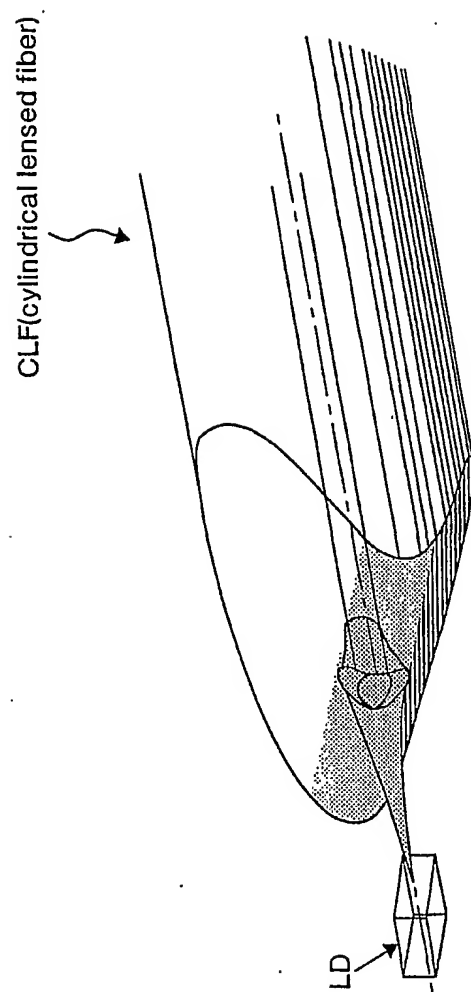
第11図

		curvature radius Rh (x-direction) [μ m]														
		6	7	8	9	10	10.5	11	11.5	12	13	14	15			
curvature radius Rv (y-direction) [μ m]	3	63.76	67.92	71.65	75.02	77.76	78.82	79.65	80.25	80.62	80.75	80.21	79.19	76.21		
	3.5	71.48	76.12	79.68	82.64	84.97	85.86	86.53	86.99	87.24	87.16	86.45	85.27	81.98		
	4	76.55	81.99	85.60	88.24	90.15	90.83	91.32	91.62	91.73	91.42	90.53	89.21	85.67		
	4.5	79.10	85.49	89.40	91.87	93.43	93.93	94.25	94.38	94.35	93.81	92.75	91.31	87.59		
	5	79.48	86.87	91.24	93.72	95.05	95.40	95.57	95.57	95.41	94.67	93.45	91.91	88.07		
	5.5	78.20	86.49	91.40	94.04	95.27	95.52	95.58	95.47	95.21	94.30	92.97	91.4	87.44		
	6	75.72	84.75	90.21	93.11	94.36	94.56	94.55	94.37	94.04	93.00	91.59	89.92	86.00		
	6.5	68.81	82.04	88.01	91.21	92.56	92.77	92.74	92.52	92.14	91.03	89.57	87.88	83.97		
7	64.96	78.70	85.09	88.61	90.13	90.36	90.34	90.12	89.73	88.59	87.10	85.42	81.56			
7.5	64.96	75.02	81.72	85.54	87.54	87.54	87.55	87.35	86.97	85.84	84.36	82.69	78.92			
8	61.12	71.20	78.12	82.19	84.09	84.45	84.52	84.35	84.00	82.91	81.46	79.83	76.17			

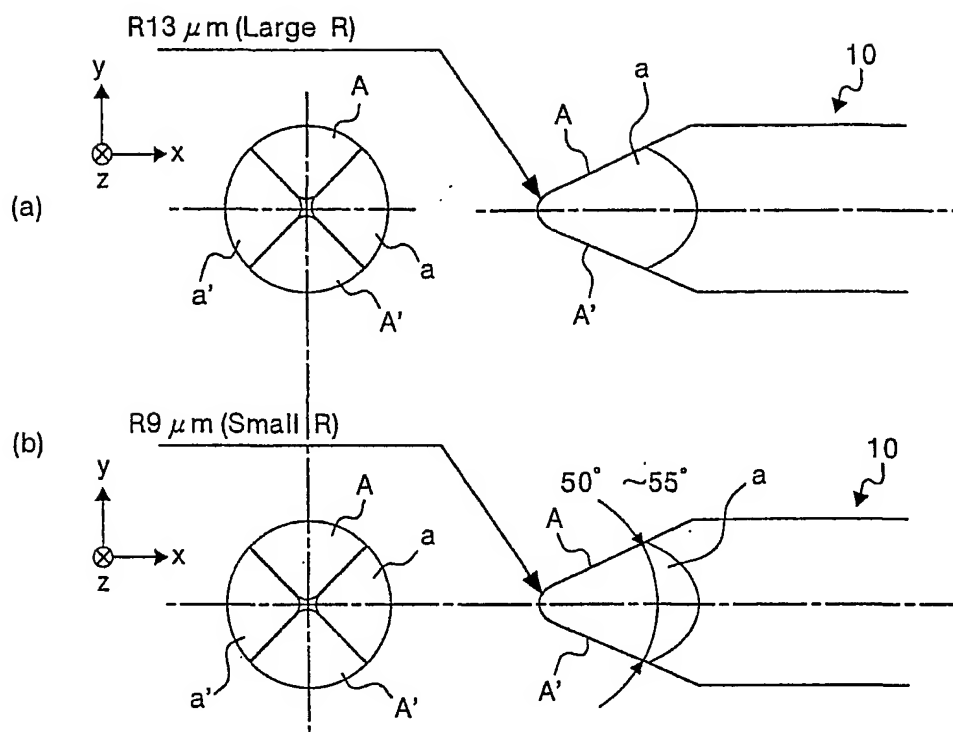
area A

area B

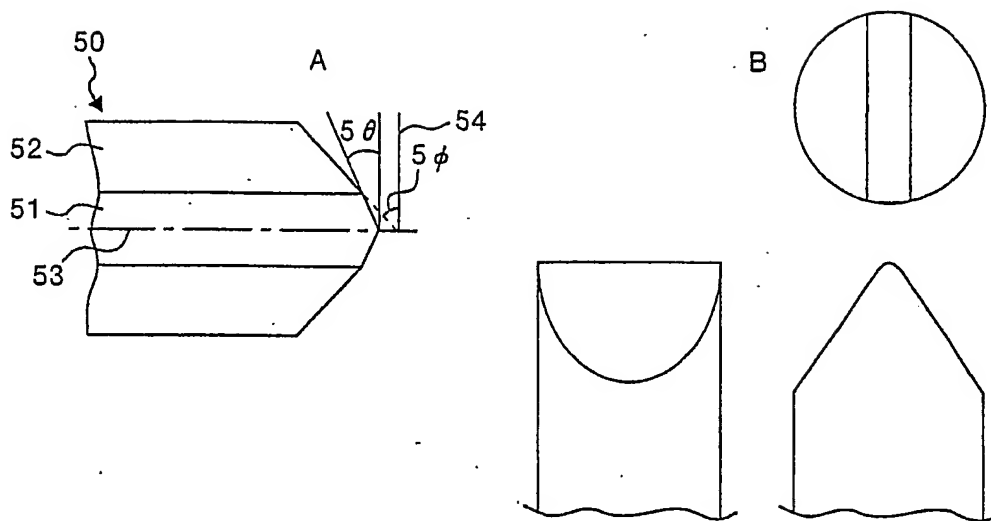
第12図



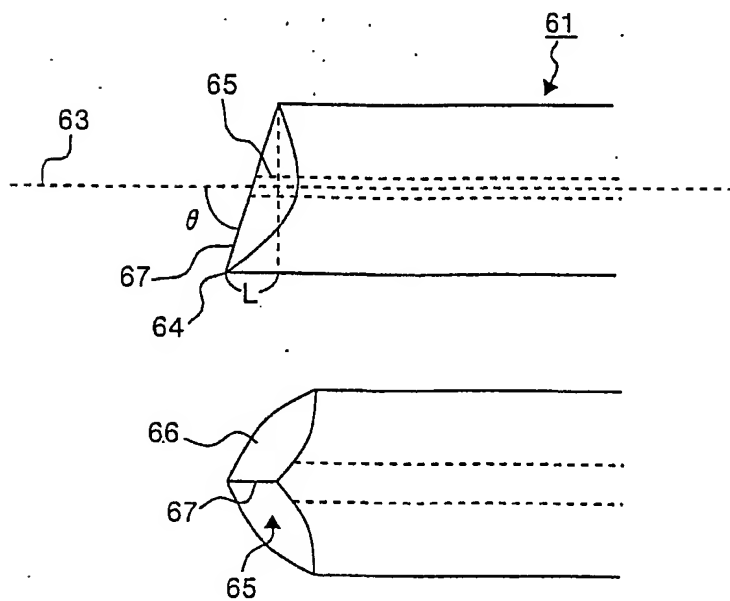
第13図



第14図



第15図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/05810

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G02B6/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B6/00-6/54

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2001
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2001 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2001

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	GB 2077943 A (Kokusai Denshin Denwa Kabushiki Kaisha), 23 December, 1981 (23.12.81), page 4, lines 6 to 39; Figs. 10 to 11 page 4, lines 6 to 39; Figs. 10 to 11 & JP 57-5380 A & US 4490020 A	1-5, 9 6-8
X Y	JP 8-21921 A (Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.), 23 January, 1996 (23.01.96) (Family: none) Full text; all drawings; especially, Par. No. [0028] Full text; all drawings	1, 3 2, 4-8
X A	EP 215713 A2 (Daiichi Denki Kogyo Kabushiki Kaisha), 25 March, 1987 (25.03.87), Full text; all drawings Full text; all drawings & JP 62-61013 A & DE 3677109 D & DE 3677109 C	2 1, 3-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"B" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
17 October, 2001 (17.10.01)

Date of mailing of the international search report
30 October, 2001 (30.10.01)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/05810

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 5256851 A (AT&T Bell Laboratories), 26 October, 1993 (26.10.93), Claims Full Text; all drawings & DE 69309748 D & CA 2085498 A & EP 558230 A1 & JP 6-43336 A & KR 155393 B & SG 65542 A	2 1,3-9
X Y	US 4243399 A (U.S. Philips Corporation), 06 January, 1981 (06.01.81), Full Text; all drawings Full Text; all drawings & AU 3699278 A & IT 7824307 A0 & BE 867956 A & SE 7806638 A & NL 7706379 A & DE 2824478 A & GB 2000119 A & FR 2394102 A & JP 54-5747 A & CA 1101712 A & US 4370021 A & IT 1096520 A & IT 1096520 B	2 1,3-9
X Y	JP 63-163806 A (Fujitsu Limited), 07 July, 1988 (07.07.88) (Family: none) Claims; all drawings Full text; all drawings	3 1,3-9
A	EP 260742 A1 (N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken), 23 March, 1988 (23.03.88), column 5, lines 30 to 46 & JP 63-70209 A & NL 8602277 A	1-9
A	EP 916976 A1 (The Hurukawa Electric Co., Ltd.), 19 May, 1999 (19.05.99), Full Text; all drawings & WO 98/50808 A1 & JP 10-307230 A	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/05810

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Claim 1 relates to an optical fiber/micro-lens, wherein two first slopes in a wedge-shaped crossing positional relation are formed at the tip end of an optical fiber, second slopes respectively forming an angle θ with an axis on a plane perpendicular to an optical fiber axis passing through the center of a core, the axis being an axis perpendicular to the optical fiber axis and to the wedge shaped crossing direction, are formed, and a micro-lens is formed using as an anamorphic focusing means an end portion surrounded by the four slopes thus formed.

Claim 2 relates to an optical fiber having its tip end worked to an oval surface.

Claims 3-9 relate to an optical fiber worked so that intersection lines between two mutually vertical planes including the center axis of a core and a curved surface formed at the tip end surface are formed to arcs having specified radii respectively.

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☒ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁷ G02B6/10

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁷ G02B6/00-6/54

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2001年
 日本国登録実用新案公報 1994-2001年
 日本国実用新案登録公報 1996-2001年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	GB 2077943 A (KOKUSAI DENSHIN DENWA KABUSHIKI KAISHA) 2 3. 12月. 1981 (23. 12. 81) Page 4 Line 6 - Line 39, Fig10-11 Page 4 Line 6 - Line 39, Fig10-11 & JP. 57-5380 A & US 4490020 A	1-5, 9 6-8
X Y	JP 8-21921 A (住友大阪セメント株式会社) 23. 1月. 19 96 (23. 01. 96), (ファミリーなし) 全文, 全図; 特に段落番号【0028】 全文, 全図	1, 3 2, 4-8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

17. 10. 01

国際調査報告の発送日

30.10.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

笹野 秀生



2K

9519

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X A	EP 215713 A2 (DAIICHI DENNKI KOGYO KABUSHIKAISHA) 25. 3月. 1987 (25. 03. 87) 全文, 全図 全文, 全図 & JP 62-61013 A & DE 3677109 D & DE 3677109 C	2 1, 3-9
X Y	US 5256851 A (AT&T BELL LABORATORIES) 26. 10月. 19 93 (26. 10. 93) 特許請求の範囲 全文, 全図 & DE 69309748 D & CA 2085498 A & EP 558230 A1 & JP 6-43336 A & KR 155393 B & SG 65542 A	2 1, 3-9
X Y	US 4243399 A (U.S. PHILIPS CORPORATION) 6. 1月. 198 1 (06. 01. 81) 全文, 全図 全文, 全図 & AU 3699278 A & IT 7824307 A0 & BE 867956 A & SE 7806638 A & NL 7706379 A & DE 2824478 A & GB 2000119 A & FR 2394102 A & JP 54-5747 A & CA 1101712 A & US 4370021 A & IT 1096520 A & IT 1096520 B	2 1, 3-9
X Y	JP 63-163806 A (富士通株式会社) 7. 7月. 1988 (0 7. 07. 88), (ファミリーなし) 特許請求の範囲, 全図 全文, 全図	3 1, 3-9
A	EP 260742 A1 (N.V. PHILIPS' GLOELAMPENFABRIEKEN) 23. 3月. 1988 (23. 03. 88) Column 5 Line 30 - Line 46 & JP 63-70209 A & NL 8602277 A	1-9
A	EP 916976 A1 (THE HURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 19. 5 月. 1999 (19. 05. 99) 全文, 全図 & WO 98/50808 A1 & JP 10-307230 A	1-9

第I欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第II欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1は、光ファイバ先端で、楔状に交差する位置関係にある第1の2つの斜面を形成し、コアの中心を通る光ファイバ軸線に垂直な平面上の軸であって、前記光ファイバ軸線と前記楔状に交差する方向とに垂直な軸からそれぞれ角度 θ をなす第2の斜面を形成し、形成された4つの斜面に囲まれる端部をアナモルフィック収束手段としてマイクロレンズを形成した光ファイバ・マイクロレンズに関するものである。

請求の範囲2は、先端を楕円面に加工した光ファイバに関するものである。

(特別ページに続く)

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

第1ページの続葉(1) 第II欄の続き

請求の範囲3-9は、コアの中心軸を含む互いに垂直な2つの平面と先端面に形成した曲面との交線が、それぞれ所定半径の円弧となるように加工した光ファイバに関するものである。